

**АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ТОЧНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ  
ВЗРЫВОБЕЗОПАСНЫХ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ  
МОЩНОСТЬЮ 7,5—100 кВт**

**Ю. М. Гринберг, О. П. Муравлев**

(Рекомендована научным семинаром кафедр электрических машин и общей электротехники)

Точность технологического процесса изготовления асинхронных двигателей характеризуется рассеиванием входных параметров, под которыми понимаем основные и локальные размеры, а также характеристики применяемых материалов (величина воздушного зазора, длины сердечников статора и ротора, удельное сопротивление алюминия обмотки ротора и т. п.). Рассеивание входных параметров обуславливает рассеивание выходных параметров (пускового и максимального моментов, пускового тока, коэффициента полезного действия и коэффициента мощности).

Установить соответствие между допусками на выходные параметры по ГОСТ 183—66 и рассеиванием этих параметров можно путем обработки результатов большого числа типовых испытаний или аналитически на основании точностных показателей технологических процессов. Первый способ очень трудоемкий и невозможен на стадии проектирования, а второй — лишен этих недостатков.

Зависимость между рассеиванием входных и выходных параметров имеет вид [1]

$$\delta_{y_i}^2 = \sum_{j=1}^n c_{ij}^2 \delta_{x_j}^2, \quad (1)$$

где

$\delta_{y_i}$  и  $\delta_{x_j}$  — половина поля рассеивания в процентах для выходных и входных параметров;  
 $c_{ij}$  — коэффициент влияния  $j$ -го входного параметра на  $i$ -й выходной. Определяется по [1].

Точностные показатели технологии для завода «Кузбассэлектромотор», где выпускаются рассматриваемые двигатели, имеют следующие значения:

$$\delta_{I_m} = 0,8 — 1,1 \%; \quad \delta_{w_1} = 0;$$

$$\delta_{I_1} = 4,79 — 0,01 l_1;$$

$$\delta_{I_2} = 3,57 — 0,0044 l_2, \quad \text{где } l_1 \text{ и } l_2 \text{ в мм};$$

$$\delta_{P_{A1}} = 19,2 + \frac{268}{P_H}, \quad \text{где } P_H \text{ в кВт};$$



$$\delta_0 = 15,7 + 1,02 \cdot 2p;$$

$$\delta_{P_{ст}+P_{мех}} = 40,9 + \frac{10,8}{P_{ст} + P_{мех}}, \text{ где } P_{ст} + P_{мех} \text{ в квт.}$$

$$\delta_{z_2} = 0; \delta_{d_{np}} \text{ по [2].}$$

Методика определения  $\delta_{x_j}$  приведена в [3], а условные обозначения — в [1, 3].

Коэффициенты влияния входных параметров на выходные для асинхронных двигателей подсчитываются аналитически на основании методики поверочного расчета [1]. Для упрощения расчета используется зависимость

$$||c_{ij}|| = ||a_{ik}|| \cdot ||b_{kj}||, \quad (2)$$

где

$||a_{ik}||$  — матрица коэффициентов влияния параметров схемы замещения на выходные параметры;

$||b_{kj}||$  — матрица коэффициентов влияния входных на параметры схемы замещения.

Для 31 типоразмера электродвигателей ВАО 6—9 габаритов были рассчитаны элементы всех матриц.

Матрица средних значений  $a_{гк}$ .

	$\Gamma_1$	$\Gamma_2^1$	$X_K$	$X_M$
$M_{\Pi}$	— 0,167	0,911	— 1,745	0,000
$M_m$	— 0,229	0,000	— 0,771	0,000
$I_n$	— 0,83	0,043	— 0,872	0,000
$\eta$	— 0,047	0,018	0,002	0,017
$\cos \varphi$	— 0,006	0,000	— 0,065	0,210

Матрица средних значений  $b_{kj}$

	$w_1$	$d_{np}$	$l_m$	$\rho_{Al}$	$\delta$	$l_1$	$l_2$	$z_2$
$\Gamma_1$	1	—2	1	0	0	0	0	0
$\Gamma_2^1$	2	0	0	1	0	0	0,736	—1
$X_K$	2	0	0,466	0	—0,202	0,402	0,496	—0,646
$X_M$	2	0	0	0	—0,665	1	0	0

Т а б л и ц а 1

Средние значения коэффициентов  $c_{ij}$

j	Входной параметр	$c_{ij}$				
		$M_{\Pi}$ i=1	$M_m$ i=2	$I_n$ i=3	$\eta$ i=4	$\cos \varphi$ i=5
1	$w_1$	—1,838	—1,771	—1,900	—0,049	0,299
2	$d_{np}$	0,333	0,459	0,167	0,094	—0,014
3	$l_m$	—0,983	—0,592	—0,492	—0,047	—0,023
4	$\rho_{Al}$	0,911	0,000	—0,043	—0,181	0,000
5	$\delta$	0,351	0,155	0,176	—0,011	—0,126
6	$l_1$	—0,695	—0,305	—0,346	0,017	0,185
7	$l_2$	—0,199	—0,386	—0,469	—0,013	—0,033
8	$z_2$	0,225	0,504	0,611	0,018	0,043
9	$P_{ст} + P_{мех}$	0,000	0,000	0,000	—0,0357	0,000



Анализ коэффициентов влияния показывает, что элементы матриц имеют большое рассеивание. Для приближенных расчетов можно использовать следующие зависимости:

$$a_{ik} = \sigma_{oik} + \sigma_{lik} P_n; \quad (3)$$

$$\sigma_{kl} = \sigma_{okj} + \sigma_{lkj} \cdot 2p. \quad (4)$$

В табл. 2 представлены необходимые данные для расчета по формулам (3) и (4).

Таблица 2

Коэффициент влияния	$b_0$	$b_1$
$a_{11}$	-0,297	0,00352
$a_{12}$	0,857	0,00144
$a_{13}$	-1,616	-0,00275
$a_{23}$	-0,662	-0,00295
$a_{41}$	-0,0388	-0,00064
$a_{42}$	-0,0234	0,00014
$a_{54}$	0,231	-0,00080
$b_{27}$	0,53	0,0405
$b_{35}$	-0,127	-0,0146
$b_{36}$	0,335	0,0132
$b_{37}$	0,383	0,0222

Все остальные коэффициенты, для расчета которых нет данных в табл. 2, определяются по матрицам средних значений, за исключением  $a_{21}, a_{31}, a_{32}, a_{33}$  и  $b_{45}$  ( $a_{21} = -1 - a_{23}, a_{31} = 0,5a_{11}, a_{33} =$

$$= 0,5a_{13}, a_{32} = -1 - a_{31} - a_{33}, b_{45} = -\frac{1}{K_n},$$

где  $k_n$  — коэффициент насыщения.

Коэффициенты матрицы  $||c_{ij}||$  подсчитываются по формуле

$$c_{ij} = a_{11} \sigma_{1i} + a_{12} b_{2j} + \dots + a_{ln} \sigma_{nj}; \quad (5)$$

$$i = 1, 2, 3, 4, 5; j = 1, 2, \dots, 8; c_{19} = c_{29} = c_{39} = c_{59} = 0;$$

$$c_{49} = -\frac{P_{ст} + P_{мех}}{P_2 + \sum P} \quad (6)$$

Для оценки долевого влияния рассеивания входных параметров по уравнению (1) были рассчитаны по три двигателя каждой полюсности разных габаритов. В табл. 3 приведены результаты расчетов.

Таблица 3

Выходные параметры	Входные параметры	$2p=2$	$2p=4$	$2p=6$	Расчет по средним	
					$2p=8$	$c_{ij}$ и $\delta_{xj}$
$M_n$	$\rho_{A1}$	0,939	0,833	0,960	0,962	0,931
	$\delta$	0,054	0,161	0,035	0,034	0,063
	$\Sigma$	0,993	0,994	0,995	0,996	0,994
$M_m$	$\delta$	0,718	0,923	0,656	0,715	0,816
	$\rho_{A1}$	0,141	0,013	0,288	0,283	0,098
	$\delta$	0,667	0,896	0,500	0,559	0,761
$I_n$	$\Sigma$	0,808	0,909	0,788	0,842	0,859
	$\rho_{A1}$	0,012	0,099	0,152	0,145	0,084
	$\delta$	0,000	0,003	0,020	0,177	0,015
$\eta$	$P_{ст} + P_{мех}$	0,985	0,892	0,819	0,725	0,893
	$\Sigma$	0,997	0,994	0,991	0,987	0,992
$\cos \varphi$	$\delta$	0,950	0,911	0,966	0,973	0,986



Как видно из таблицы, рассеивание пускового момента обусловлено  $\rho_{\Delta I}$  и  $\delta$ , причем влияние величины воздушного зазора незначительно. Разброс величины воздушного зазора определяет рассеивание максимального момента, коэффициента мощности и в значительной степени пускового тока.

Рассеивание коэффициента полезного действия полностью зависит от  $\rho_{\Delta I}$ ,  $\delta$ ,  $P_{ст} + P_{мех}$ , но соотношение между влиянием этих параметров неодинаково: при увеличении числа полюсов увеличивается влияние  $\rho_{\Delta I}$  и  $\delta$ .

Таким образом, эквивалентное удельное сопротивление короткозамкнутой обмотки ротора, величина воздушного зазора и потери в стали и механические определяют рассеивание выходных параметров.

Для существующей технологии изготовления асинхронных двигателей серии ВАО 6—9 габаритов было рассчитано рассеивание выходных параметров. Результаты приведены в табл. 4.

Таблица 4

Выходной параметр	Пределы $\delta_{y_i}$ %
$M_n$	20,4—45,6
$M_m$	2,5— 6,3
$I_n$	2,5— 7,1
$\eta$	1,4— 2,8
$\cos\varphi$	0,9— 5,8

Сравнение рассеяния выходных параметров с допусками по ГОСТ 183—66 показывает, что принятая технология изготовления обеспечивает соответствие стандарту таких параметров, как  $M_m$ ,  $I_n$ ,  $\eta$  и частично  $\cos\varphi$ .

Рассеивание пускового момента для большинства двигателей значительно превышает установленные стандартом 20%.

Таким образом, проведенные исследования позволяют оценить точность технологического процесса изготовления взрывобезопасных асинхронных двигателей, рассчитать рассеивание выходных параметров как при производстве, так и на стадии проектирования двигателей, оценить соотношение между возможностями технологического процесса и допусками по ГОСТ на выходные параметры.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. О. П. Муравлев, Э. К. Стрельбицкий. Расчет допусков на параметры асинхронных двигателей. «Электротехника», 1968, № 11.
2. ГОСТ 2112—62. «Проволока медная круглая электротехническая».
3. О. П. Муравлев. Исследование влияния точностных характеристик техпроцесса на качество и надежность асинхронных электродвигателей. Диссертация, Томск, 1966.